

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-16918

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/3213
21/768

識別記号

F I

H 0 1 L 21/88
21/90

D
S

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-168813

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月25日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 上野 和良

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

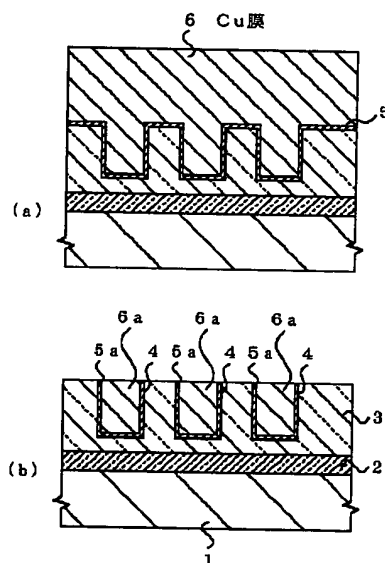
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 銅配線構造およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 微細な溝配線構造の銅配線が低抵抗で高い信頼性のもとに安定して形成できる銅配線構造とその製造方法を提供する。

【解決手段】 炭素を主成分とする有機層間膜に形成された配線溝あるいは孔に銅材料が埋め込まれた溝配線構造の銅配線であって、この銅材料と有機層間膜との間に導電性の炭素層が形成される。ここで、この導電性の炭素層は、有機層間膜の所定の領域に配線溝あるいは孔が形成され、この配線溝あるいは孔の内壁がプラズマ照射等で改質されて形成される。そして、この導電性の炭素層上に銅が堆積され上記のような溝配線構造の銅配線が形成される。



1 : シリコン基板 4 : 配線溝
2 : 下地絶縁膜 5a : 導電性炭素層
3 : 有機層間膜 6a : 銅配線

【特許請求の範囲】

【請求項1】 炭素を主成分とする有機層間膜に形成された配線溝あるいは孔に銅材料が埋め込まれた配線であって、前記銅材料と有機層間膜との間に導電性の炭素層が形成されていることを特徴とする銅配線構造。

【請求項2】 炭素を主成分とする有機層間膜上に無機絶縁膜が積層して形成され、前記有機層間膜および無機絶縁膜に形成された配線溝あるいは孔に銅材料が埋め込まれた配線であって、前記銅材料と有機層間膜との間に導電性の炭素層が形成されていることを特徴とする銅配線構造。

【請求項3】 請求項1あるいは請求項2に記載の銅配線が多層構造に形成されていることを特徴とする銅配線構造。

【請求項4】 前記有機層間膜がフッ素添加のアモルファスカーボン膜で構成されていることを特徴とする請求項1、請求項2または請求項3記載の銅配線構造。

【請求項5】 半導体基板上に炭素を主成分とする有機層間膜を堆積させる工程と、前記有機層間膜の所定の領域に配線溝あるいは孔を形成する工程と、前記有機層間膜の上面および前記配線溝あるいは孔の内壁を改質し導電性の炭素層に変換する工程と、前記導電性の炭素層上に銅を堆積させる工程とを含むことを特徴とする銅配線構造の製造方法。

【請求項6】 半導体基板上に炭素を主成分とする有機層間膜と無機絶縁膜とをこの順に積層して堆積させる工程と、前記有機層間膜と無機絶縁膜の所定の領域に配線溝あるいは孔を形成する工程と、前記有機層間膜に形成された配線溝あるいは孔の内壁のみを改質し導電性の炭素層に変換する工程と、前記導電性の炭素層上に銅を選択的に堆積させる工程とを含むことを特徴とする銅配線構造の製造方法。

【請求項7】 前記有機層間膜の所定の領域に配線溝あるいは孔を形成した後、プラズマ照射がなされて前記配線溝あるいは孔の内壁に前記導電性の炭素層が形成されることを特徴とする請求項5または請求項6記載の銅配線構造の製造方法。

【請求項8】 前記プラズマ照射が水素ガスのプラズマ励起された反応ガス中で行われることを特徴とする請求項7記載の銅配線構造の製造方法。

【請求項9】 前記プラズマ照射がアルキルガスのプラズマ励起された反応ガス中で行われることを特徴とする請求項7記載の銅配線構造の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体装置に用いる銅配線構造とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子の構造の微細化および高密度化は依然として精力的に推し進められている。微細化で

は、現在では0.13 μ m程度の寸法で形成される半導体素子が用いられ、この寸法を設計基準にした半導体装置たとえば4ギガビットDRAM等のメモリデバイスあるいはロジックデバイスが開発検討されている。

【0003】 また、高密度化については、微細化による平面的な高密度化と共に半導体素子の3次元化による方法が検討され、その中で特に微細構造の多層配線技術が最も重要になってきている。この多層配線技術では、配線に使用される導電体材料と配線層間の層間絶縁膜に使用される絶縁膜材料の選択が重要になってくる。

【0004】 このような中で、銅配線は、現在の半導体装置の配線層として主に用いられているアルミニウム

(Al)合金配線に比較して、その低い抵抗値のために将来の微細な配線層の候補として研究開発がなされている。ここで、銅配線の構造としては、例えば特開平7-297186号公報に記載されているような配線溝に銅材料が埋め込まれた溝配線構造のものが主に検討されている。これは、銅材料の反応性イオンエッチング(RIE)による微細加工が非常に難しくなるためである。

【0005】 以下、従来の技術として上記の公開公報に示されている銅配線構造およびその製造方法を図6と図7に基づいて説明する。ここで、図6および図7は銅による溝配線構造の製造工程順の断面図である。

【0006】 図6(a)に示すように、シリコン基板101上に化学気相成長(CVD)法で絶縁膜102が形成される。ここで、絶縁膜102はシリコン酸化膜等である。次いで、図1(b)に示すように、RIE法で絶縁膜102の所定の領域がエッチングされ配線溝103が形成される。ここで、配線溝の幅は0.4 μ m、その深さは0.6~0.7 μ mである。次に、図6(c)に示すように、50nm程度の膜厚の窒化チタン膜(TiN膜)104が全面に形成される。このようなTiN膜104はスパッタ法で堆積される。

【0007】 次に、図7(a)に示すように、CVD法で銅膜(Cu膜)105がTiN膜104上の全面に形成される。ここで、Cu膜105の膜厚は800nm程度に設定され、配線溝103内はCu膜105により完全に埋められる。このCVD法によるCu膜105の堆積では、TiN膜104はCu膜成長のシード層としての役割を有している。

【0008】 次に、図7(b)に示すように、全面の化学機械研磨(CMP)で配線溝103上部に突出するCu膜105、および配線溝103の外の絶縁膜102上のCu膜105やTiN膜104が除去される。このようにして、シリコン基板101上の絶縁膜102表面部に配線溝103が形成され、この配線溝103内にはのみシード層としてTiN膜104aを介在させた銅配線105aが形成されるようになる。

【0009】 上記の従来の技術では、配線溝が形成されて層間絶縁膜となる絶縁材料としては、シリコン酸化膜

が使用されている。しかし、最近では1996 Symposium on VLSI Technology のDigest of Technical Papers 88頁に記載されているようにベンゾシクロブテン(BCB)のような有機絶縁材料が検討されてきている。

【0010】このように層間絶縁材料として有機絶縁材料が検討されるのは、その比誘電率が2~3とシリコン酸化膜の比誘電率4に比べて低減するためである。このような比誘電率の低減は、配線間の寄生容量を低減させ、銅配線の低抵抗値と相まって配線層の伝送速度を大幅に向上させるようになる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、先述した従来のような技術では、配線溝の幅が微細になりその深さが大きくなってくると、配線溝の内壁全面にシード層を形成することが難しくなる。これは、従来の技術では、シード層となるTiN膜、タンタル膜(Ta膜)等の金属膜はスパッタ法で堆積されるため膜のステップカバレージが悪くなるからである。このために、配線溝に銅を完全

【0012】また、配線溝の内壁全面にシード層を形成すると、配線溝の間口でシード層の膜厚が増大する。そして、配線溝の銅を埋め込んでも配線抵抗が上昇するようになる。これは、シード層の電気抵抗は銅のそれより大きくなるからである。

【0013】以上のように従来の技術では、微細構造、特に、配線の高さと配線幅との比すなわちアスペクト比が大きくなる溝配線の形成が困難になってしまう。

【0014】本発明の目的は、上記のような問題を解決し、微細構造の溝配線である銅配線構造とその製造方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】このために本発明の銅配線構造では、炭素を主成分とする有機層間膜に形成された配線溝あるいは孔に銅材料が埋め込まれ、この銅材料と有機層間膜との間に導電性の炭素層が形成されている。

【0016】あるいは、炭素を主成分とする有機層間膜上に無機絶縁膜が積層して形成され、これらの有機層間膜および無機絶縁膜に形成された配線溝あるいは孔に銅材料が埋め込まれ、銅材料と有機層間膜との間に導電性の炭素層が形成されている。あるいは、上記のような銅配線が多層構造に形成されている。

【0017】ここで、有機層間膜はアモルファスカーボン膜あるいはフッ素添加のアモルファスカーボン膜で構成されている。

【0018】また、本発明の銅配線構造の製造方法は、半導体基板上に炭素を主成分とする有機層間膜を堆積させる工程と、この有機層間膜の所定の領域に配線溝ある

いは孔を形成する工程と、有機層間膜の上面および前記配線溝あるいは孔の内壁を改質し導電性の炭素層に変換する工程と、上記の導電性の炭素層上に銅を堆積させる工程とを含む。

【0019】あるいは、半導体基板上に炭素を主成分とする有機層間膜と無機絶縁膜とをこの順に積層して堆積させる工程と、上記の有機層間膜と無機絶縁膜の所定の領域に配線溝あるいは孔を形成する工程と、有機層間膜に形成された配線溝あるいは孔の内壁のみを改質し導電性の炭素層に変換する工程と、上記の導電性の炭素層上に銅を選択的に堆積させる工程とを含む。

【0020】ここで、上記の有機層間膜の所定の領域に配線溝あるいは孔を形成した後、プラズマ照射がなされて上記の配線溝あるいは孔の内壁に導電性の炭素層が形成される。

【0021】このようなプラズマ照射は水素ガスのプラズマ励起された反応ガス中で行われる。あるいは、プラズマ照射はアルキルガスのプラズマ励起された反応ガス中で行われる。

【0022】本発明では溝配線構造の銅配線において、有機層間膜の所定の領域に配線溝あるいは孔が形成され、この配線溝あるいは孔の内壁面がプラズマ照射等の方法で導電性炭素層に改質される。しかも、このような改質は選択的に配線溝あるいは孔の内壁のみにおいて行える。また、このような方法による改質は、均一な層にしかも厚さの制御が高精度にできるために、配線溝あるいは孔の寸法が微細になってもその適用が可能となる。

【0023】しかも、このようにして形成される導電性炭素層は銅膜形成の成長シード層として機能する。そして、配線溝あるいは孔の側壁に形成されたこのシード層により、配線溝が埋め込まれるように銅材が堆積されて溝配線構造の銅配線が形成される。そして、このようにしてできあがった銅配線構造において、この導電性炭素層はバリア層としても機能し、銅配線の酸化あるいは腐食等を防止するようになる。

【0024】このようにして、超微細な溝配線構造の銅配線が高い信頼性のもとに安定して形成できるようになり、その配線抵抗の低減が容易になる。

【0025】

【発明の実施の形態】次に、図1と図2に基づいて本発明の第1の実施の形態について説明する。図1および図2は本発明の溝配線構造である銅配線の製造工程順の断面図である。本発明の銅配線構造はこの製造工程の中で説明される。

【0026】図1(a)に示すように、シリコン基板1上に全面に平坦化された下地絶縁膜2が形成される。ここで、下地絶縁膜2はCVD法で堆積される膜厚200nm程度のシリコン酸化膜である。

【0027】次に、下地絶縁膜2上に800nm程度の膜厚の有機層間膜3が形成される。ここで、有機層間膜

3は、4フッ化炭素(CF₄)ガスとメタン(CH₄)ガスを反応ガスとするプラズマCVD法で堆積される有機絶縁膜である。このようにして堆積される有機絶縁膜はフッ素添加のアモルファスカーボン膜でありその比誘電率は3以下となる。以下、このフッ素添加のアモルファスカーボン膜はa-CF膜と記される。ここで、a-CF膜のフッ素の含有量は30~40at%に設定される。

【0028】次に、図1(b)に示すように、a-CF膜で構成される有機層間膜3の所定の領域がフォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術とで微細加工され、有機層間膜3に配線溝4が形成される。ここで、配線溝4の幅は0.2μm程度であり配線溝4間の間隔は0.2μm程度である。そして、この配線溝4の深さは0.5μm程度である。

【0029】次に、配線溝4の形成された有機層間膜3が水素プラズマに曝される。すなわちプラズマ照射される。そして、200℃程度の熱処理が施される。このようにして、図1(c)に示すように、配線溝4の内壁および有機層間膜3の上部に導電性炭素層5が形成されるようになる。ここで、導電性炭素層5の層厚は10nm程度に設定される。なお、このプラズマ照射による有機層間膜3の表面の改質については、図3に基づいて後述される。

【0030】次に、図2(a)に示すように、CVD法で400nm程度の膜厚のCu膜6が、導電性炭素層5を被覆するように全面に堆積される。ここで、Cu膜のCVDでの反応ガスとしてヘキサフルオロアセチルアセトン銅(1)トリメチルビニルシランが用いられる。なお、この成膜の温度は180℃に設定され、反応ガスの圧力は20Torrに設定された。この場合のCu膜の堆積速度は100nm/minである。

【0031】次に、従来の技術と同様にして、CMP法で不要のCu膜と有機層間膜3上の導電性炭素層が除去され、図2(b)に示すように、導電性炭素層5aを介在して配線溝4内に銅配線6aが形成される。このようにして、シリコン基板1上の下地絶縁膜2を被覆する有機層間膜3に配線溝4が形成され、この中に溝配線構造の銅配線6aが形成されることになる。ここで、導電性炭素層5aはバリア層として機能する。すなわち、この導電性炭素層5aによって、銅配線6aが有機層間膜3に存在する水分等で酸化されるのが完全に防止される。

【0032】従来の技術では、この実施の形態のような微細な溝配線を有する銅配線は形成できなかった。これに対し、本発明によればディープサブμm寸法の銅配線でも容易に形成できるようになる。

【0033】また、従来の技術で説明したのと同様の設計寸法で溝配線構造の銅配線を形成し、従来の技術と本発明の方法とを比較したところ、本発明の方法で形成される銅配線の抵抗値が低くなることが確認された。この

場合、その値は、従来の技術で形成したものより30%程度低減するようになる。

【0034】本発明では有機層間膜の表面を改質しその厚さの均一な導電性炭素層を形成することが重要な技術構成となっている。そこで、この改質について図3を参照して説明する。

【0035】図3において、a-CF膜である有機層間膜3の表面が水素プラズマに曝されると、水素プラズマ中の水素イオンあるいは水素のラジカルが有機層間膜3表面のa-CF膜中のFと反応するようになる。そして、フッ化水素(HF)が形成され反応ガスとして外部に放出される。このようにして、有機層間膜3の表面は炭素のみで形成されるようになる。さらに、200℃程度の熱処理が施されると、この有機層間膜3表面の炭素層は焼結され先述した導電性炭素層5に変化するようになる。

【0036】上記のような水素プラズマ処理による有機層間膜3表面の改質は、その表面形状に無関係に均一に行われる。このため、配線溝4の内壁あるいは有機層間膜3の上部は均一に導電性炭素層5に変換されるようになる。

【0037】本発明においては、導電性炭素層5の厚さは10nm程度と非常に薄く制御される。そこで、水素プラズマ処理による有機層間膜3表面の改質では、シリコン基板が冷却され有機層間膜3が低温にされるとよい。例えば、シリコン基板の温度は液体窒素程度に冷却される。この有機層間膜3の低温化で、有機層間膜中の水素イオンあるいは水素のラジカル熱拡散が抑制され、有機層間膜の最表面のみが改質されるようになる。なお、水素プラズマ処理は平行平板電極を用いる水素の放電あるいはダウンフロー方式による方法で行われる。

【0038】ここで、水素プラズマ処理に代わって、メタンガスあるいはエタンガスのようなアルキルガスをプラズマ励起し、このようなプラズマ励起ガス中で有機層間膜3の表面の改質が行われてもよい。この場合には、表面の改質と同時に炭素の堆積が行われる。このために、改質のための処理時間が大幅に短縮する。

【0039】次に、本発明の第2の実施の形態を図4と図5に基づいて説明する。これは、Cu膜が選択的に堆積される場合の製造工程順の断面図である。ここで、図1と図2で説明したものと同一のものは同一の符号で説明される。

【0040】第1の実施の形態と同様にして、図4(a)に示すように、シリコン基板1上に全面に下地絶縁膜2が形成される。ここで、下地絶縁膜2は膜厚100nm程度のシリコン酸化膜である。

【0041】次に、下地絶縁膜2上に500nm程度の膜厚の有機層間膜3が形成される。ここで、有機層間膜3は第1の実施の形態で説明したa-CF膜である。そして、この有機層間膜3上に積層して保護絶縁膜7が形

成される。ここで、保護絶縁膜7は、プラズマCVD法で堆積される膜厚100nm程度のシリコン窒化膜である。

【0042】次に、図4(b)に示すように、積層する保護絶縁膜7と有機層間膜3の所定の領域がフォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術とで微細加工される。そして、マスク絶縁膜8と配線溝4が同一のパターンに形成される。ここで、配線溝4の幅は0.1μm程度であり配線溝4間の間隔も0.1μm程度である。そして、この配線溝4の深さは0.3μm程度である。

【0043】次に、第1の実施の形態と同様にして、配線溝4の形成された有機層間膜3が水素プラズマに曝される。そして、200℃程度の熱処理が施される。このようにして、図4(c)に示すように、配線溝4の内壁のみに導電性炭素層5が形成されるようになる。ここで、導電性炭素層5の層厚は10nm程度に設定されるようになる。なお、この場合には、有機層間膜3の上部はマスク絶縁膜8で保護されるため、この領域には導電性炭素層は形成されない。また、マスク絶縁膜8はシリ

コン窒化膜であるため、この表面にも導電性炭素層は形成されない。

【0044】次に、図5(a)に示すように、選択CVDで選択Cu膜9が配線溝4に埋め込まれるように形成される。このCu膜の選択CVDは第1の実施の形態で説明したのと同様にして行われる。すなわち、CVDでの反応ガスとしてヘキサフルオロアセチルアセトン銅(1)トリメチルビニルシランが用いられる。ここで、成膜の温度は180℃に設定され、反応ガスの圧力は50mTorrに設定される。この場合の選択Cu膜の堆積速度は40nm/minである。

【0045】このような条件でCu膜を堆積させると、Cu原子は導電性のあるところすなわち導電性炭素層5を成長のシードとして堆積する。そして、導電性炭素層5のある配線溝4の内壁をシードにCu原子が堆積していき、選択Cu膜9が配線溝4に形成されるようになる。しかし、選択性が悪くなるとマスク絶縁膜8上に僅かに非選択Cu膜10が形成される。

【0046】次に、マスク絶縁膜8が化学薬液中で除去される。この場合、マスク絶縁膜8はシリコン窒化膜であるのでホットリン酸溶液中で除去される。このマスク絶縁膜8の除去工程で、非選択Cu膜10もリフトオフと同一の原理で同時に除去される。このようにして、図5(b)に示すように、有機層間膜3に設けられた配線溝4内に導電性炭素層5が介在し、選択Cu膜9が埋め込まれるように形成される。

【0047】次に、第1の実施の形態で説明したように、CMP法で選択Cu膜9の出っ張り部が除去される。このようにして、図2(b)で説明したのと同様の溝配線構造である銅配線が形成される。

【0048】この実施の形態では、マスク絶縁膜8はシ

リコン窒化膜で形成されているが、これに限定されることなくシリコン酸化膜のような無機絶縁膜でも同様に適用できることに言及しておく。

【0049】この第2の実施の形態では、CMPの工程で除去されるものが選択Cu膜の出っ張り部だけであるため、CMPの工程が大幅に短縮される。例えば、第1の実施の形態でCMP工程時間が5分であったものがこの場合では1分に短縮される。そして、このような銅配線を有する半導体装置の製造歩留まりが大幅に向上するようになる。

【0050】なお、Cu膜の選択CVDにおいてその選択性が完全になり、その厚さの制御性が向上するとこのようなCMPの工程は不要になる。そして、製造工程がさらに短縮するようになる。

【0051】以上の実施の形態では、Cu膜がCVD法で形成される場合について説明された。このCu膜の堆積ではメッキ法も同様に本発明に適用できることに言及しておく。また、有機層間膜としてa-CF膜が使用される場合について説明されているが、この他、実施の形態で説明したようなプラズマ処理でその表面が炭素層に改質されるような有機絶縁材料であれば、本発明は適用できることに言及しておく。また、配線溝の代わりに有機層間膜に形成される孔内に銅材を埋め込む場合でも同様に本発明の方法は適用できる。

【0052】本発明の説明では、有機層間膜に設けられる配線溝あるいは孔の内壁が導電性炭素層に改質される場合について詳述されている。このような配線溝あるいは孔の内壁の改質では、導電性炭素層以外にシリコンを含有するSiC層、チタン(Ti)および窒素(N)を含有するTiCN層が形成されてもよい。ここで、シリコンを含有するSiC層の形成では、シラン(SiH₄)とCH₄の混合ガスが照射される。TiおよびNを含有するTiCN層の形成では、テトラキスジエチルアミノチタン(TTEAT)あるいはテトラキスジメチルアミノチタン(TTMAT)ガスが照射される。また、このような照射ガスはプラズマ励起されてもよい。

【0053】なお、上記の実施の形態では第1層の銅配線について説明されているが、実施の形態で説明したのと同様にして第2層の銅配線が形成されれば、溝配線構造の銅配線が多層構造に形成できるようになる。

【0054】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明では溝配線構造の銅配線において、有機層間膜の所定の領域に配線溝が形成され、この配線溝の内壁面がプラズマ処理を通して導電性炭素層に改質される。そして、この導電性炭素層が銅膜形成の成長シード層として用いられる。そして、配線溝が埋め込まれるように銅膜が堆積されて溝配線構造の銅配線が形成される。ここで、この導電性炭素層はバリア層としても機能し、銅配線の酸化あるいは腐食等を防止する。

10

20

30

40

50

【0055】本発明で形成される導電性炭素層は薄くかつ均一に形成される。このために、配線の寸法が微細になっても容易に溝配線構造の銅配線が形成できるようになる。また、この銅配線の断面において導電性炭素層の占める割合は10%以下にできるため、従来の技術の場合よりも実効的な配線の抵抗が大幅に低減される。また、本発明では比誘電率の小さい有機層間膜に銅配線が形成できるため、配線の寄生容量も低減される。このような銅材であるための低抵抗化と低容量化とにより、半導体装置の微細化においても配線層での伝送速度は向上するようになる。そして、半導体装置の高速化が促進される。

【0056】このようにして、微細な溝配線構造の銅配線が低抵抗で高い信頼性のもとに安定して形成できるようになり、半導体デバイスの高集積化あるいは高速化が促進されるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を説明するための製造工程順の断面図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態を説明するための製造工程順の断面図である。

【図3】本発明の導電性炭素層の形成を説明するための模式図である。

10

*【図4】本発明の第2の実施の形態を説明するための製造工程順の断面図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態を説明するための製造工程順の断面図である。

【図6】従来の技術を説明するための製造工程順の断面図である。

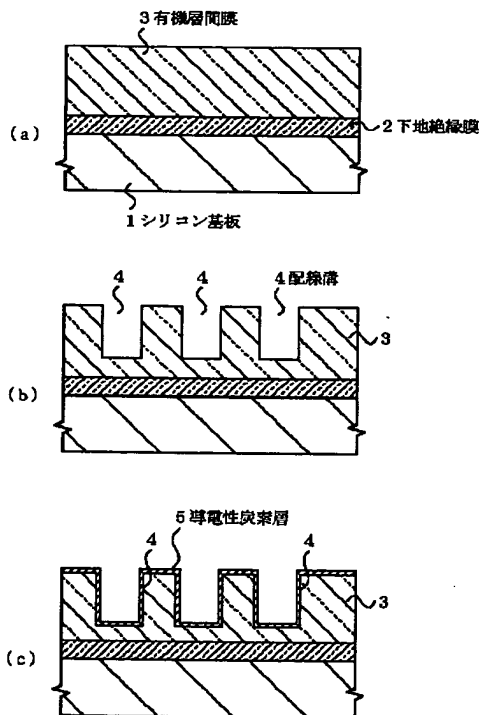
【図7】従来の技術を説明するための製造工程順の断面図である。

【符号の説明】

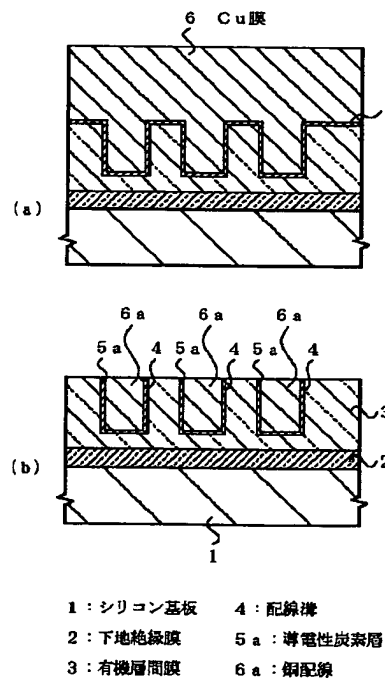
- 1, 101 シリコン基板
- 2 下地絶縁膜
- 3 有機層間膜
- 4, 103 配線溝
- 5, 5a 導電性炭素層
- 6, 105 Cu膜
- 6a, 105a 銅配線
- 7 保護絶縁膜
- 8 マスク絶縁膜
- 9 選択Cu膜
- 10 非選択Cu膜
- 102 層間絶縁膜
- 104, 104a TiN膜

*

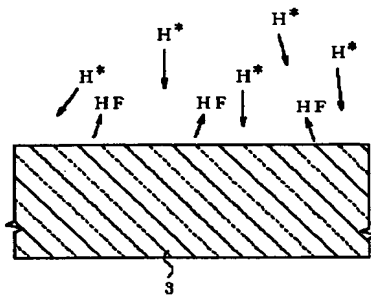
【図1】



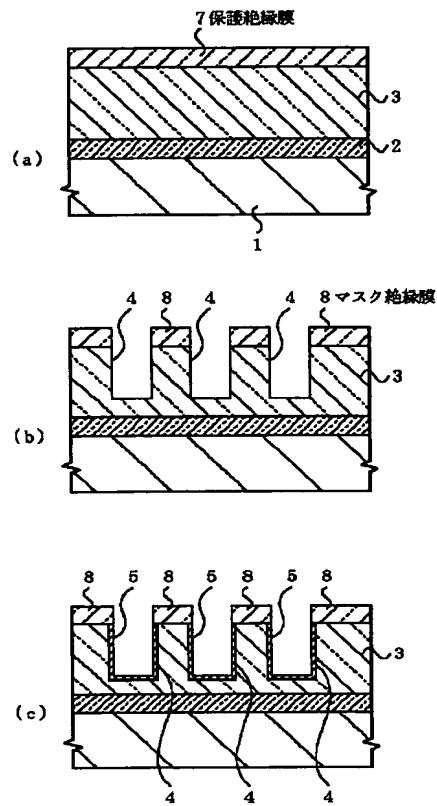
【図2】



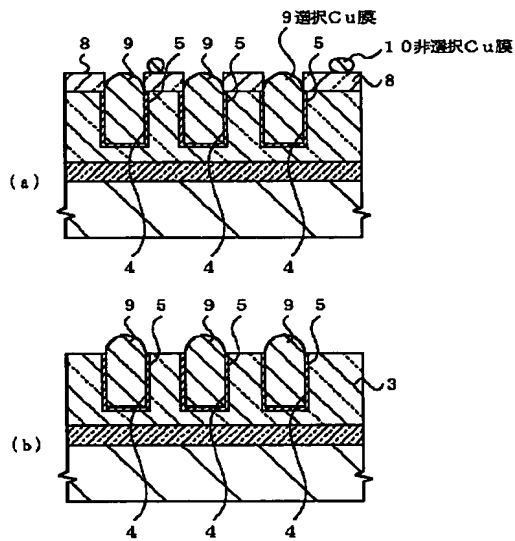
【図3】



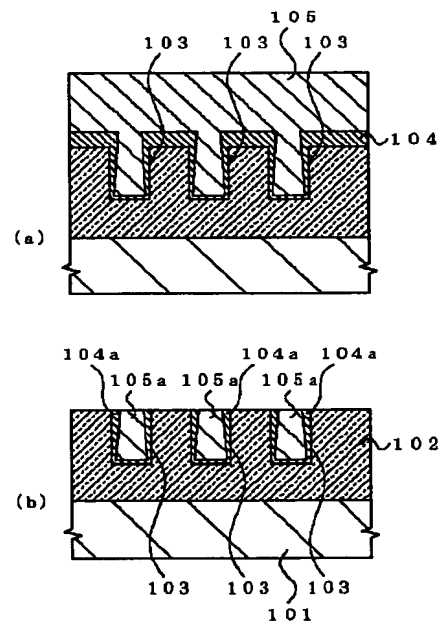
【図4】



【図5】



【図7】



【図6】

